Archive of SID

فصلنامهٔ کواترنری ایران (علمی- پژوهشی)، دورهٔ ۲، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۵
ص ۳۵۳-۳۶۶

زمین‌دیس‌ها و چشمه‌های کارستی درهٔ الموت، شمال قزوین

پرویز غضنفری*؛ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، ایران
مهدی بختیاری؛ کارشناس‌ارشد رسوب‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، ایران
مهدی تاج‌آبادی ؛ دکتری آب زیرزمینی، کارشناس آب منطقه‌ای قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۲۰

چکیده

شناخت پدیده‌های زمین‌ریخت‌شناسی[1] که در اثر انحلال ایجاد شده است به شناخت سامانه‌های کارستی کمک شایانی می کند. ازاین‌رو، معمولاً زمین‌ریخت‌شناسی نخستین مرحله در بررسی کارست است. درهٔ الموت در زون ساختاری البرز میانی (مرکزی) قرارگرفته و دربرگیرندهٔ سازندهای دوران‌های دیرینه‌زیستی، میانه‌زیستی و نوزیستی است. مهم‌ترین سازندهای کربناتهٔ الموت سازندهای سلطانیه، روته، الیکا، لار و تیزکوه است. در این پژوهش، پس از بررسی‌های میدانی و نمونه‌برداری از واحدهای سنگی کربناته و مقایسهٔ آن‌ها از نظر گسترش زمین‌دیس‌های کارستی، توان کارست‌زایی آن‌ها بررسی شد. نمونه برداری از چشمه های کارستی در دو دورهٔ خشک و مرطوب، همچنین اندازه‌گیری EC، pH و دما در روی زمین انجام گرفت. بررسی‌های سنجش از دور با نرم‌افزار ILWIS روی تصاویر ماهوارهای لندست برای جداسازی، محاسبهٔ مساحت سازندهای کربناته و مدل ارتفاع رقومی انجام گرفت. برای بررسی و تفسیر یافته‌های واکاوی‌های شیمیایی از نرم‌افزار AqQa و برای مدلسازی شیمی آب از نرم‌افزار Phree Qc بهره‌گیری شد. مهم‌ترین زمین‌دیس‌های کارستی در منطقه شامل انواع کارن، گودال انحلالی، غارک، غار، و چشمهٔ کارستی است. به‌دلیل بارندگی بیشتر و دمای کمتر، شدت کارستی‌شدن در بخش شمالی درهٔ الموت بیش از جنوب آن است. بر پایهٔ تلفیق بررسی‌های میدانی و داده‌های سنجش از دور، شدت کارستی‌شدن در منطقهٔ الموت به‌ترتیب از زیاد به کم شامل سازندهای روته، الیکا، تیزکوه، لار، باروت و سلطانیه می‌شود. بر پایهٔ رده‌بندی زمین‌ریختی، کارست‌زایی الموت بیشتر کارست ناقص و به نسبت ژرف و بر پایهٔ رده‌بندی مهندسی نوجوان تا جوان است.

کلیدواژه‌ها: البرز میانی، زمین‌ریخت‌شناسی، شمال قزوین، کارست‌زایی، هیدروشیمی.

مقدمه

واژهٔ اسلاوی krs یا kars که به معنای سنگ است، از واژهٔ هندی- اروپایی kar که به معنای سنگلاخ و واژهٔ ایتالیایی karso به معنای سنگ لُخت گرفته شده است. مجموعهٔ این واژه‌ها در واژهٔ آلمانی کارست تبلور یافته است (میلانوویچ، ۱۹۸۱). نواحی کارستی ویژگی‌ها و لندفرم‌های ویژهٔ زمین‌ریختی به‌ویژه در سطح و زیرسطح زمین است. مسیرهایی که در امتداد آن آب جریان می‌یابد باعث ایجاد این زمین‌دیس‌ها (لندفرم‌ها) می شود که عمدتاً در اثر توسعهٔ تخلخل ثانویه ایجاد می‌شود.

کارست پدیده‌ایی در پوستهٔ زمین است که نشانه‌های آن به‌صورت پدیده‌های گوناگون مانند حفره‌ها و غارها در سطح و زیرزمین وجود دارد، هرچند در واژگان فنی به پدیدهٔ خوردگی و انحلال توده‌سنگ‌های کربناته (سنگ‌آهک و دولومیت) کارست گفته می‌شود (قبادی، ۱۳۸۸). سیویک (۱۹۲۵) مناطق کارستی را به سه منطقه تقسیم کرد شامل

* نویسندهٔ مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۲۷۰۷۹۶۴ Email: Ghazanfari.parviz@gmail.com

1. geomorphology

www.SID.ir

Archive of SID

کارست کامل[1]، کارست ناقص[2] و کارست انتقالی[3]. کارست کامل هم در سطح زمین و هم در زیرزمین به‌خوبی گسترش یافته است، ولی در کارست ناقص زمین‌دیس‌های کارستی به‌صورت کامل توسعه نیافته و بیشتر در سنگ‌آهک‌های نازک‌لایه و ناخالص مانند مارن، دولومیت و بنتونیت دیده می‌شود.

کارست انتقالی را به‌دلیل درجهٔ کارستی‌شدن بین کارست کامل و کارست ناقص قرارمی‌دهند، ولی بیشتر به کارست‌های کامل شبیه است. این نوع کارست عمدتاً در سنگ‌آهک‌ها یافت می‌شود که با رسوبات ناتراوا و با قابلیت انحلال کم از هم جدا شده است. در رده‌بندی مهندسی، کارست به نوجوان، جوان، رسیده، پیچیده و گسترده دسته‌بندی می‌شود (والتام و فوکس، ۲۰۰۳). نشانه‌ها و عوارض کارستی معمولاً به‌صورت کارست بیرونی و درونی رده‌بندی می‌شود. سیمای کارست بیرونی روی نقشه‌های زمین‌ریخت‌شناسی دیده می‌شود، ولی سیمای کارست درونی از بالاترین بخش‌های سنگ‌های کارستی آغاز و به‌سوی ژرفا گسترش می‌یابد. در نتیجه، به‌آسانی آشکار نمی‌شود. کارست‌زایی در زمان‌های پیش از کواترنر که کارست دیرینه[4] نامیده می‌شود کمیاب و آن هم بیشتر وابسته به بوکسیت‌های کارستی است. بنابراین، فرایند کارست‌زایی، مانند آن چیزی که امروزه ما می‌بینیم، تنها در کواترنر، به‌ویژه طی ۴۳۰۰ سال در دوران پساسیلاب[5] رُخ داده است (سیلوسترا، ۲۰۰۰).

سنگ‌های کربناتی از منابع مهم مخازن آب به‌شمار می‌رود. تأثیر آسیب‌های ایجادشده در نواحی کارستی بر زندگی بشر زیاد است و در صورتی که چاره‌اندیشی نشود، هم از دید مالی و هم محیط‌زیستی آسیب فراوان و گاه جبران‌ناپذیری پدید می‌آورد. ویژگی شیمیایی آب زیرزمینی منطقه متأثر از ترکیب رسوبات نهشته‌شده، توپوگرافی منطقه، کیفیت آب تغذیه‌کننده و شرایط اقلیمی منطقه است (اندرسون و همکاران، ۱۹۸۸). کیفیت آب زیرزمینی یکی از ویژگی‌های شیمی آب است که توصیف شیمیایی آب، توزیع مکانی انواع سازنده‌های شیمیایی و قابلیت مصرف آب برای اهداف مختلف آشامیدن، کشاورزی و صنعت را مشخص می‌کند (آلی، ۱۹۹۳). اگر زیر زمین را سامانه در نظر بگیریم، کیفیت آب خروجی از این سامانه تابع کیفیت آب ورودی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سامانه، زمان گذر یا ایست آب در سامانه، واکنش‌های شیمیایی میان سامانه و آب در طول مسیر حرکت و ورود و اختلاط سایر آب‌ها به سامانه است. از آنجا که کالبد سامانهٔ یادشده از مواد زمین‌شناختی ساخته شده است، شناسایی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی سامانه و آب موجود در آن، در بازسازی شرایط حاکم بر سامانه و شناسایی کیفیت آب موجود در بخش‌های گوناگون آن اهمیت بسیاری دارد (شاهسوندی، ۱۳۸۷).

امروزه، با توجه به برداشت بی‌رویهٔ آب زیرزمینی، نگاه کارشناسان، به‌ویژه در کشورهای با آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، بیش از پیش متوجه برداشت از منبع آب کارستی شده است. در امریکا نزدیک ۴۰٪ از آب مورد نیاز این کشور از منابع کارستی به‌دست می‌آید (فورد و ویلیامز، ۲۰۰۷). همچنین، حدود ۳۵٪ از مساحت فرانسه از سازندهای کارستی پوشیده شده و سهم این سازندها در تأمین آب آشامیدنی این کشور نیز به همین میزان است (باکالوویچ، ۲۰۰۵). بیش از ۱۱٪ سطح کشورمان را سازندهای کارستی می‌پوشاند (افراسیابیان، ۱۳۷۷). تمرکز جریان و ذخیرهٔ آب از مهم‌ترین کارکردهای هیدرولیکی در سیمای کارست درونی است (چو، ۱۹۸۸). تنوع زمین‌ریخت‌شناسی کارست و گنجینهٔ مردم‌شناسی به‌همراه تنوع زیستی در سرزمین‌های کارستی نیز از دیگر نقاط بارز و بااهمیت این مناطق است که در ساختن الگوهای بهینه برای پیشرفت پایدار اهمیت دارد. افزون‌بر این، امروزه زمین‌گردشگری کارست در کشورهای دارای این پدیدهٔ شگفت‌انگیز اهمیت ویژه‌ای دارد (میگون، ۲۰۱۱).

هدف اصلی این پژوهش شناسایی زمین‌دیس‌های کارستی و نقش ویژگی‌های سنگ‌شناسی و شکستگی، همچنین آب‌وهوا در شکل‌گیری کارست در منطقه، همچنین مقایسهٔ شدت کارست‌زایی سازندهای کربناتهٔ الموت است. این پژوهش برای نخستین‌بار مناطق امیدبخش کربناته برای اکتشاف آب زیرزمینی در منطقهٔ الموت را مشخص کرده است و پایه‌ای برای بررسی‌های اکتشافی دقیق‌تر در زمین‌های کارستی این منطقه به کار می‌رود.

1. holokarst
2. merokarst
3. transitional
4. paleokarst
5. post-flood era

www.SID.ir

Archive of SID

عوامل تأثیرگذار بر زمین‌ریخت‌شناسی کارست

در فرایند کارست‌زایی، پارامترهای مؤثر در گسترش زمین‌دیس‌ها و عوارض کارستی مانند سنگ‌شناختی، شکستگی و آب‌وهوای منطقه نقش مهم‌تری نسبت به ویژگی‌های خاک‌شناسی، پوشش گیاهی، توپوگرافی و دیگر عوامل دارد. ترکیب سنگ‌شناختی و کانی‌شناسی عامل مهمی در پیدایش زمین‌دیس‌های کارستی است. از دید سنگ‌شناختی، منطقهٔ الموت سازندهای کربناته با سنگ‌شناسی سنگ‌آهک و دولومیت دارد و آمادهٔ کارست‌زایی است. سرعت انحلال کلسیت بیش از دولومیت است، بنابراین سنگ‌آهک انحلال‌پذیرتر از دولومیت است (تاکر، ۲۰۰۱). البته، سرعت انحلال در سنگ‌های تبخیری بسیار بیشتر از سنگ‌آهک است. میزان انحلال یا برهنه‌سازی شیمیایی[1] در سنگ‌های سولفاته (مانند سنگ‌گچ) نزدیک ده برابر سنگ‌آهک است (فورد و ویلیامز، ۲۰۰۷). این نرخ انحلال در سنگ‌نمک از این هم بیشتر است (بوزاک، ۲۰۰۸).

بررسی‌های انجام‌گرفته در مقیاس زون البرز میانی نشان‌دهندهٔ این نکته است که ویژگی‌های سنگ‌شناسی مانند میزان خلوص سنگ‌آهک، رخسارهٔ سنگی و ستبرای واحدهای سنگی در میزان کارستی‌شدن مؤثر است (قانع و غضنفری، ۱۳۹۲). درزه و شکاف‌هایی که به‌صورت شبکه گسترش می‌یابد در شکل‌گیری و ساخت زمین‌دیس‌های زیرزمینی مانند مجاری به‌هم‌پیوسته و ایجاد زمین‌دیس‌های بیرونی کارست مانند انواع کارن‌ها معمولاً اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا در چنین سامانه‌ای، بلوک‌های سنگی از یکدیگر جدا می‌شود (فورد و ویلیامز، ۲۰۰۷). تخلخل و تراوایی در راستای پهنه‌های شکستهٔ سنگ‌های کربناته با جریان شارهٔ بالارونده به‌گونهٔ فزاینده‌ای افزایش می‌یابد و باعث گسترش کارست ژرفزاد[2] می‌شود (انس- سیلوا و همکاران، ۲۰۱۵).

چگونگی قرارگرفتن درزه‌ها بسیار مهم است، زیرا در درزه‌های عمود بر هم، مجاری کارستی و غار به‌آسانی ساخته می‌شود. از سوی دیگر، تَرَک‌های سطحی که نتیجهٔ فرایندهای بیرونی است، روی سنگ‌های کربناتی در گسترش و پیدایش کارست نقش تعیین‌کننده‌ایی دارد (مقیمی، ۱۳۹۱).

وجود آب فاکتور اصلی اقلیمی در توسعهٔ کارست است. این عامل اصلی‌ترین متغیر در کنترل انحلال و فرسایش است. به‌صورت طبیعی، کارست در مناطقی پیشرفت می‌کند که میزان بارندگی بیشتر باشد. مناطق خشک یا بسیار سرد مانع از گسترش کارست می‌شود (کریمی‌وردنجانی، ۱۳۹۴).

مواد و روش‌ها

پراکندگی و گسترش سنگ‌های کربناتهٔ منطقهٔ الموت با به‌کارگیری نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ قزوین (رادفر، ۱۳۷۷)، شکران (آنلز و همکاران، ۱۹۷۷)، رامسر (بهارفیروزی و همکاران، ۱۳۷۹)، جواهرده (بهارفیروزی و همکاران، ۱۳۸۲)، و جیرنده (قلمقاش، ۱۳۸۱) شناسایی شد. بازدیدهای میدانی در بررسی سازندهای کربناتهٔ منطقهٔ الموت و شناسایی زمین‌دیس‌های کارستی و میزان و شدت کارست‌زایی در آن انجام گرفت. برای بررسی‌های دقیق سنگ‌شناسی، از هر واحدهای سنگی دست‌کم یک نمونه برداشته شد. پس از تهیهٔ بُرش نازک، برای شناسایی کانی کلیست از دولومیت، بُرش‌ها با محلول آلیزارین سرخ، به روش دیکسون (۱۹۶۶) رنگ‌آمیزی و برای بررسی پتروگرافی با میکروسکوپ پلاریزان مطالعه شد.

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، مدل ارتفاع رقومی[3] (DEM) منطقه تهیه شد. پس از زمین‌مرجع کردن و اتصال برگه‌های نقشه‌های زمین‌شناسی به یکدیگر، محدودهٔ سازندهای کربناته در منطقهٔ الموت به‌دست آمد. در این پژوهش لایهٔ لیتولوژیکی تهیه شد که با این لایه محدودهٔ سازندهای کربناتهٔ منطقهٔ الموت مشخص شد. سپس، با به‌کارگیری نرم‌افزار ILWIS الگوی شبکهٔ آبراهه‌ها و خطواره‌های زمین‌شناختی استخراج شد. در نهایت، مناطق امیدبخش کارستی با نقشهٔ سازندهای کربناتهٔ منطقه به‌دست‌آمده از نقشه‌های زمین‌شناسی مقایسه و تصیح شد.

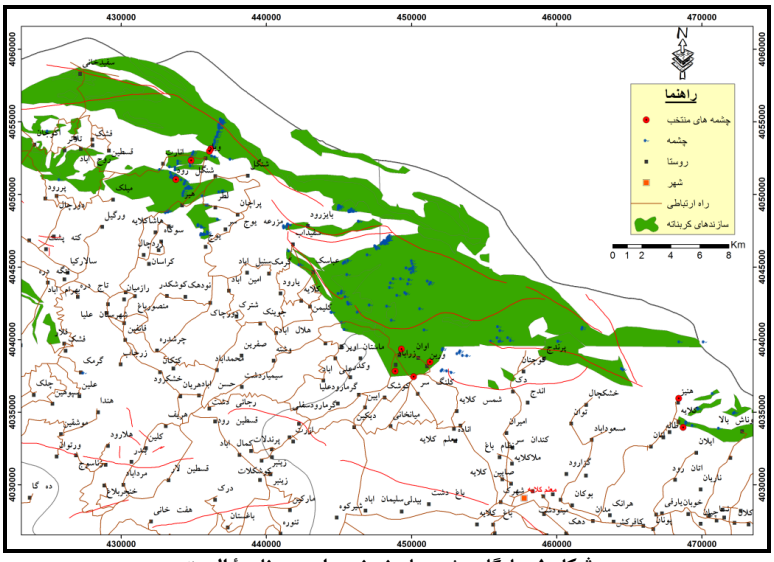
همچنین، یکی از روش‌های شناسایی نوع سیستم جریان در آبخوان کارستی، به‌کارگیری نتایج واکاوی‌های

1. chemical denudation
2. hypogene karst
3. Digital Elevation Model

www.SID.ir

Archive of SID

شیمیایی آب چشمه‌های این مناطق است. برای شناخت سامانهٔ ژئوشیمیایی آب زیرزمینی منطقه از چشمه‌های منطقه در دو دورهٔ خشک (اواخر تیرماه) و مرطوب (فروردین) نمونه‌برداری شد. پارامترهای EC، pH و دما در روی زمین اندازه‌گیری و آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب، در آزمایشگاه سازمان آب منطقه‌ای قزوین انجام شد. شکل ۱ جایگاه نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.



شکل ۱. جایگاه چشمه‌ها و نمونه‌برداری در ناحیهٔ الموت

برای بررسی و تفسیر نتایج واکاوی‌های شیمیایی از نرم‌افزار AqQa (تیک و ولاسوپولوس، ۲۰۰۴) و برای مدلسازی هیدروشیمیایی از نرم‌افزار Phree Qc (پارخورست و اپلو، ۱۹۹۹) اندیس‌های سیرشدگی نمونه‌های آبی برای شناخت زمان ایست آب چشمه‌ها در سفرهٔ آهکی استفاده شد. بر پایهٔ مقدار کاتیون و آنیون‌های اصلی و دمای آب می‌توان به محاسبهٔ شاخص‌هایی چون P_{CO2}، SIC و SID پرداخت. در بررسی آب‌های زیرزمینی در محیط‌های کارستی محاسبهٔ شاخص‌های SIC و SID مدت‌زمان ایست آب در آبخوان را نشان می‌دهد. هر قدر زمان ایست آب در آبخوان کوتاه باشد، مقدار این شاخص‌ها کوچک‌تر می‌شود. همچنین، با مقایسهٔ این شاخص‌ها می‌توان به‌طور نسبی نشان‌داد که آب از محیط آهکی یا دولومیتی گذر کرده است (لانگمویر، ۱۹۹۷).

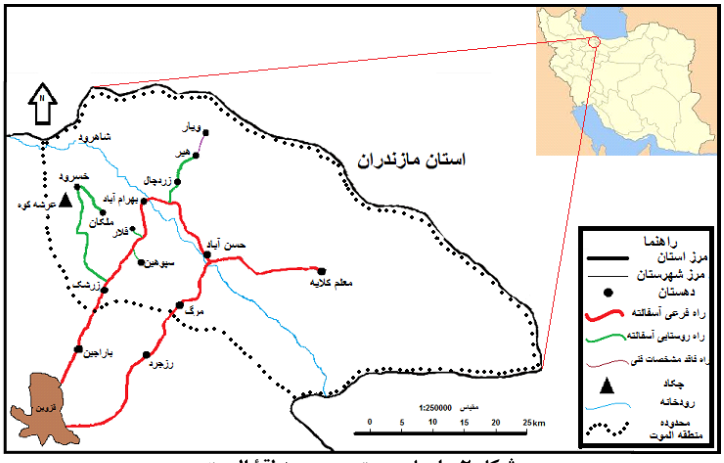
منطقهٔ مورد بررسی بین طول جغرافیایی "۵۴ '۰۲ °۵۰ تا "۵۵ '۵۲ °۵۰ خاوری و عرض جغرافیایی "۱۱ '۱۷ °۳۶ تا "۰۱ '۰۱ °۳۶ شمالی قرارگرفته است. الموت از شمال به استان‌های گیلان و مازندران، از باختر به دیلمان و لوشان، از جنوب به طالقان و کوه‌های شمال قزوین و از خاور به تنکابن و طالقان محدود می‌شود (شکل ۲). منطقهٔ مورد مطالعه مساحتی نزدیک ۱۸۶۶ کیلومترمربع دارد.

زمین‌شناسی و چینه‌شناسی

پهنهٔ رسوبی– ساختاری البرز شامل بلندی‌های شمالی صفحهٔ ایران است که به شکل تاقدیسی مرکب، در راستای عمومی خاوری– باختری، از آذربایجان تا خراسان گسترش دارد. بر پایهٔ تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی آقانباتی (۱۳۸۳) و نبوی (۱۳۵۵)، منطقهٔ مورد مطالعه در البرز میانی (مرکزی) از زون البرز– آذربایجان و از دید افتخارنژاد (۱۳۵۹) در واحد ساختمانی البرز باختری قرارگرفته است. البرز میانی خمیدگی جنوبی دریای خزر را شامل می‌شود و از سمنان تا قزوین ادامه می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. راه‌های دسترسی به منطقهٔ الموت

سازندهای کربناتهٔ مهم در الموت به‌ترتیب از پیر به جوان شامل سلطانیه، روته، الیکا، لار و تیزکوه است. کهن‌ترین رخنمون شناخته‌شده در ناحیهٔ مورد بررسی وابسته به سنگ‌های دولومیتی سازند سلطانیه است. لایه‌بندی در سازند سلطانیه ستبر و توده‌ای است، چنانکه رخنمون‌های این واحد در پیرامون روستای وَربُن و اُوان نمایان شده است (شکل ۱). رخنمون‌های گسترده‌ای از سازند روته در بخش‌های شمالی الموت، شمال روستای ویار، شامل سنگ‌آهک‌های با لایه‌بندی متوسط تا ستبر و توده‌ای است (شکل ۳).

سازند الیکا شامل بخش سنگ‌آهک در زیر و بخش دولومیتی در بالا به‌صورت نازک تا متوسط‌لایه و توده‌ای است. به‌سوی جنوب دستجرد، ستبرای این سازند کم‌کم بیشتر و به نزدیک ۱۸۰ متر می‌رسد (شکل ۴). سازند لار در شمال روستاهای مِرگ، سَپوهین، جنوب بهرام‌آباد رخنمون دارد. ستبرای این واحد در جاهای گوناگون ناهمسان است، به‌گونه‌ای که از ۴۰ متر تا نزدیک ۲۵۰ متر افزایش پیدا می‌کند (شکل ۳). رخنمون سازند تیزکوه با سنگ‌آهک‌های با لایه‌بندی میانگین تا ستبر و گاهی توده‌ای در خاور روستاهای هیر و زردچال، همچنین در روستاهای فلار و بهرام‌آباد دیده می‌شود (شکل ۵).

شکل ۳. سازند روته، جنوب روستای ویار، نگاه به باختر (راست)؛ سازند سلطانیه، خاور روستای اُوان، نگاه به شمال خاور (چپ)

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۴. سازند لار، شمال روستای مِرگ، نگاه به باختر (راست)؛ سازند الیکا، جنوب دستجرد (ارشد کوه)، نگاه شمال خاور (چپ)

شکل ۵. سازند تیزکوه، روستای هیر، نگاه به شمال خاور

یافته‌های پژوهش

بررسی‌های پتروگرافی بُرش‌های نازک از سازندهای کربناتهٔ منطقه برای شناسایی دقیق سنگ‌شناسی آن انجام شد و نشان داد بیشتر سنگ‌های کربناته از سنگ‌آهک و کمتر سنگ دولومیت است (شکل ۶). سازند سلطانیه از سنگ دولومیت آهکی، سازند روته سنگ‌آهک، سازند الیکا سنگ‌آهک دولومیتی و سازندهای لار و تیزکوه هم از سنگ‌آهک ساخته شده است.

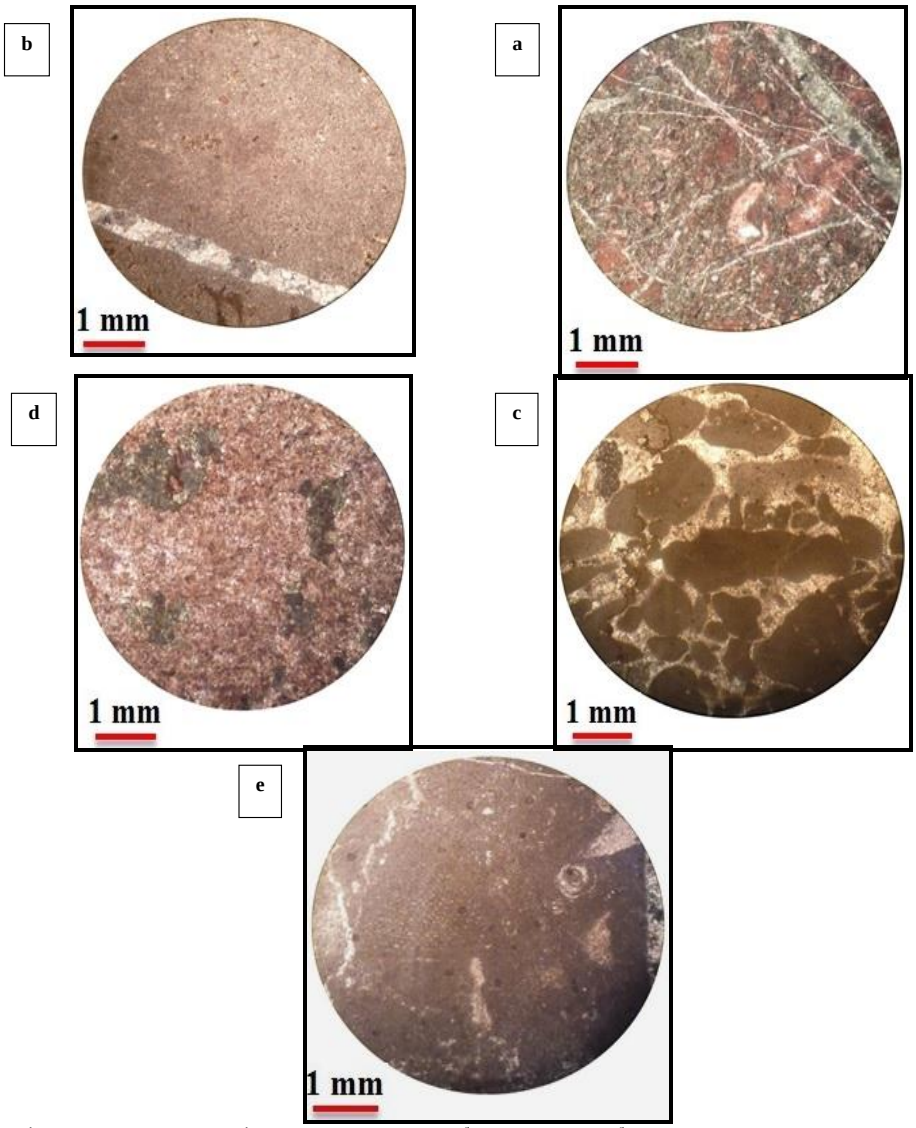
چورلی و همکاران (۱۳۷۹) بر این باورند که در مناطقی که میزان بارندگی کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر باشد زمین‌دیس‌های کارستی پدید نمی‌آید. بنابراین، ساختارهای کارستی بیشتر در مناطق سرد و مرطوب با بارش بیش از ۳۰۰ میلی‌متر شکل می‌گیرد که دارای سنگ بستر کربناته یا تبخیری باشد. منطقهٔ الموت منطقه‌ای کوهستانی در البرز میانی است که زیر تأثیر دو جریان عمدهٔ باران‌زای مدیترانه‌ای و پرفشار سیبری و قطبی بوده است. بخش شمالی منطقه از رطوبت و باران دریای خزر نیز بهره‌مند می‌شود. به‌طور کلی، درهٔ الموت دارای اقلیمی با بارندگی میانگین سالانهٔ بالای ۳۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای ۱۰ تا ۱۴ درجهٔ سانتی‌گراد است. تیپ آب‌وهوایی الموت از نوع نیمه‌مرطوب سرد تا فراسرد است (پایگاه سازمان هواشناسی استان قزوین).

بر پایهٔ تصاویر ماهواره‌ای لندست، مدل ارتفاعی رقومی (شکل ۷) و پراکندگی سازندهای کربناته و پوشش گیاهی منطقه (شکل ۸) و بر پایهٔ نقشه‌های زمین‌شناسی، با به‌کارگیری نرم‌افزار ILWIS (در محیط GIS)، نقشهٔ سازندهای کربناته در منطقهٔ الموت (شکل ۹) و مساحت آن به‌دست آمد.

نکتهٔ قابل‌تأمل این است که با وجودی که سازند لار در بخش خاوری البرز میانی بیشترین میزان کارست‌زایی را دارد، در منطقهٔ الموت در ردهٔ کمترین قراردارد. علت این تفاوت ستبرا و برون‌زد کم سازند لار در منطقهٔ الموت است.

www.SID.ir

Archive of SID



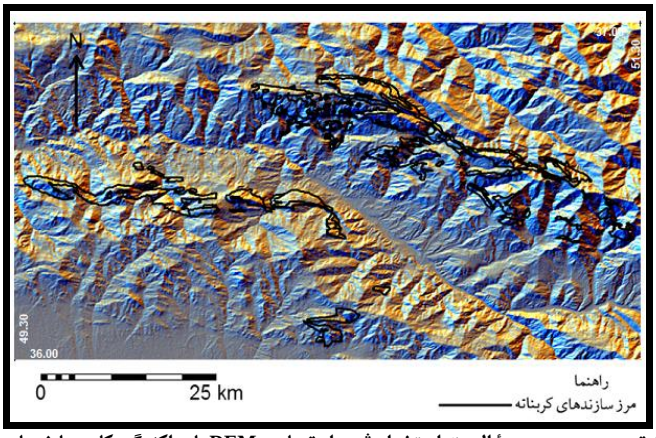
شکل ۶. بُرش‌های نازک میکروسکوپی، رنگ‌آمیزی‌شده با محلول آلیزارین قرمز، در نور XPL؛ a) دولومیت، سازند سلطانیه، b) سنگ‌آهک ریزبلور، سازند روته، c) سنگ‌آهک دولومیتی، سازند الیکا، d) سنگ‌آهک دانه‌فراوان، سازند لار، e) سنگ‌آهک فسیل‌دار، سازند تیزکوه

زمین‌دیس‌های کارستی الموت

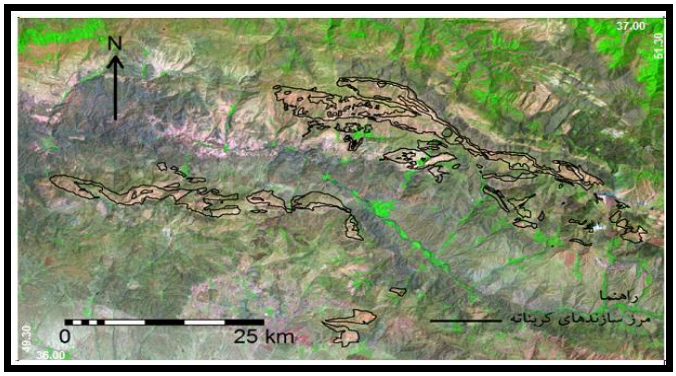
زمین‌دیس‌های کارستی دارای گوناگونی بسیاری است. در منطقهٔ الموت کارست بیرونی و درونی گوناگونی خیلی گسترده‌ای ندارد. از این روی، کارست منطقه دارای پیچیدگی کمی است که در ادامه به مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌کنیم.

www.SID.ir

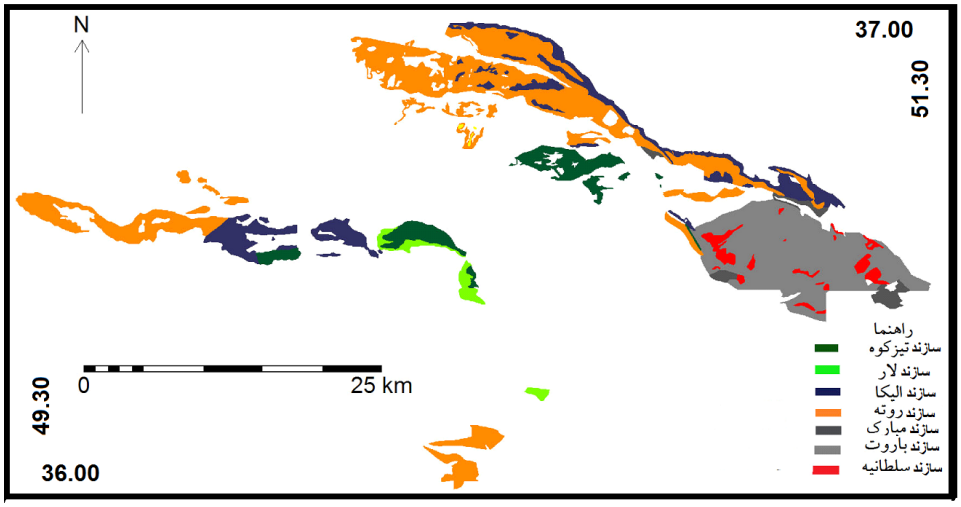
Archive of SID



شکل ۷. تصویر سه‌بعدی درهٔ الموت استخراج‌شده از تصاویر DEM با پراکندگی کلی سازندهای کربناته



شکل ۸. تصویر ماهوارهٔ لندست مربوط به درهٔ الموت و پراکندگی سازندهای کربناته و پوشش گیاهی منطقه



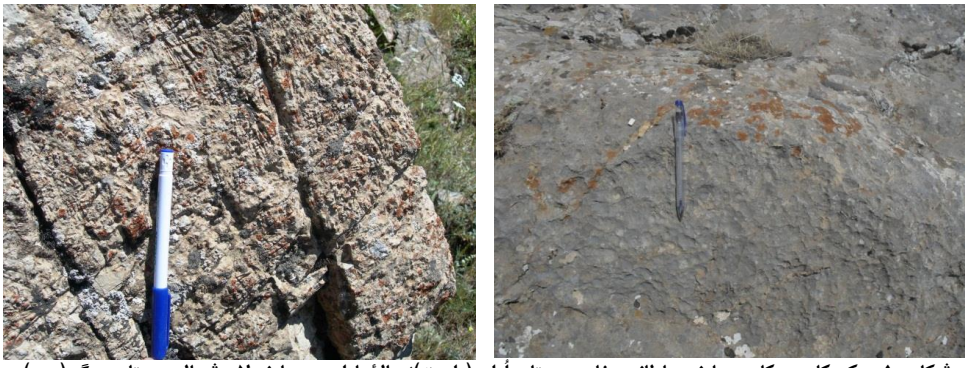
شکل ۹. پراکندگی سازندهای کربناتهٔ منطقهٔ الموت

www.SID.ir

Archive of SID

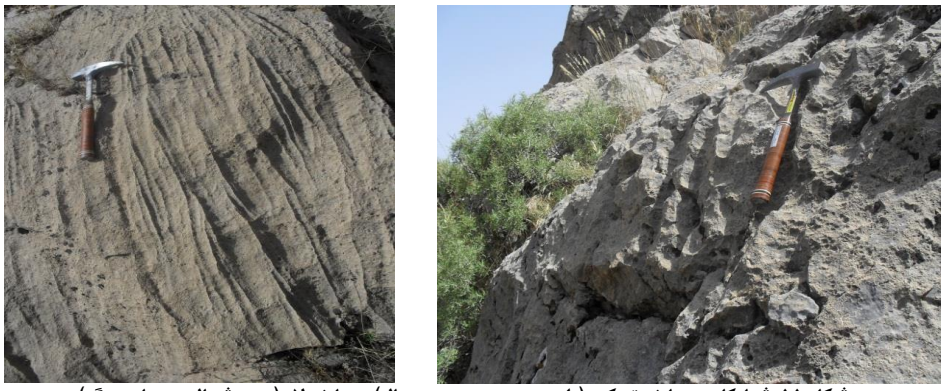
چالهٔ باران. از زمین‌دیس‌های انحلالی که روی تودهٔ سنگی و بدون اثر عوامل ساختاری ایجاد می‌شود، می‌توان به چاله‌های باران[1] اشاره کرد. این کارن‌ها به‌صورت حفرات کوچکی با ابعاد چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر روی سنگ لخت ایجاد می‌شود. شکل ظاهری آن‌ها به‌صورت دوایر نامنظم و دو طرف آن قرینه است. دلیل تشکیل آن‌ها عموماً ناهمگنی در سنگ‌آهک یا عمل موجودات زنده است (کریمی‌وردنجانی، ۱۳۹۴). این پدیده در بیشتر سازندها دیده می‌شود (شکل ۱۰).

ریزشیار. ریزکارن[2] یا ریزشیار[3] شیارهای ژرف‌تر و گسترده‌تری ندارد و در حدود ۱ میلی‌متر و درازای چند سانتی‌متر است. این پدیدهٔ کارستی کوچک در بسیاری از سازندها دیده می‌شود.



شکل ۱۰. میکروکارن و کارن سازند سلطانیه، خاور روستای اُوان (راست)؛ چالهٔ باران در سازند لار، شمال روستای مِرگ (چپ)

شیارکارن. شیارکارن یا کارن شیاری[4] گذرگاه‌های نازک با بُرش دارد. این شکل‌ها در شیب‌های تند پدید می‌آید. هر چه بارش و شیب بیشتر شود، درازای شیار کارن هم افزایش می‌یابد (بوگلی، ۱۹۸۰؛ شکل ۱۱).



شکل ۱۱. شیارکارن، سازند تیزکوه (راست، مسیر هیر- زردچال) و سازند لار (چپ، شمال روستای مِرگ)

ژرف‌شیار. ژرف‌شیار[5] در نتیجهٔ انحلال در محل درزه‌ها پدیدمی‌آید. وسعت و ژرفا انحلال جداکنندهٔ آن از شیارهای انحلالی است (شکل ۱۲). ژرف‌شیارها معمولاً چند سانتی‌متر عرض و چند متر ژرفا دارد. اهمیت ژرف‌شیارها از آن جهت است که هدایت‌کنندهٔ اصلی آب باران به داخل سفره‌های کارستی است (کریمی‌وردنجانی، ۱۳۹۴؛ شکل ۱۲).

1. rain pit
2. microkarren
3. microrill
4. rill karren
5. grikes/cleft karren

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱۲. ژرف‌شیار در سازند روته (راست، جنوب ویار نگاه به جنوب) و سازند تیزکوه (چپ، جنوب بهرام‌آباد، نگاه به جنوب)

غار. غار[1] به بازشدگی‌ای طبیعی روی زمین در اندازه‌های بزرگی گفته می‌شود که انسان بتواند وارد آن شود (فلوری، ۲۰۰۹). اگر اندازهٔ حفره کوچک‌تر از ۱ متر باشد، به آن غارک یا چاله[2] گویند. غار در دستهٔ کارست بیرونی قرارمی‌گیرد. سنگ‌آهکی که در میان آن لایه‌های شیلی وجود دارد از دید ساخت غار بسیار مهم است، زیرا شیل‌ها آب‌های زیرزمینی را متوقف می‌کند و باعث سرعت‌بخشیدن به انحلال سنگ‌آهک و در پایان ساخت غار می‌شود (مقیمی، ۱۳۹۱). بیشتر غارهای منطقهٔ الموت در سازند روته قراردارد، مانند غار سفیداب در شمال روستای سفیداب، همچنین غار ولی در نزدیکی روستای گشنه‌رود. البته، غار انگول در شمال روستای دینک هم در سازند الیکا قراردارد (شکل ۱۳).

شکل ۱۳. غار و غارک در سازند روته (راست، شمال سفیداب) و سازند تیزکوه (چپ، جنوب بهرام‌آباد، نگاه به جنوب)

یافته‌های بررسی‌های میدانی زمین‌ریخت‌شناسی و سنجش از دور نشان می‌دهد که شمالی‌ترین بخش منطقه در محدودهٔ هیر تا شمال ویار دارای گسترده‌ترین کارست‌زایی است. یکی از دستاوردهای این پژوهش یافتن همبستگی بالا میان میزان رخنمون (مساحت) سازندها و میزان کارست‌زایی آن‌هاست. در کارهای پیشین تنها بر ستبرای سنگ‌های کربناته تأکید شده بود، در حالی که متناسب با شیب لایه‌ها میزان رخنمون سنگ متفاوت است (جدول ۱). برای نمونه، اگر واحد سنگی شیب تندی داشته باشد، میزان رخنمون آن بسیار کمتر از واحد سنگی با شیب کند است. بنابراین، هر چه شیب لایه کمتر باشد یا گسل یا چین‌خوردگی و حتی فرسایش باعث افزایش رخنمون سازند شود، زمینهٔ کارست‌زایی آن افزایش خواهد یافت.

1. caves
2. pit

www.SID.ir

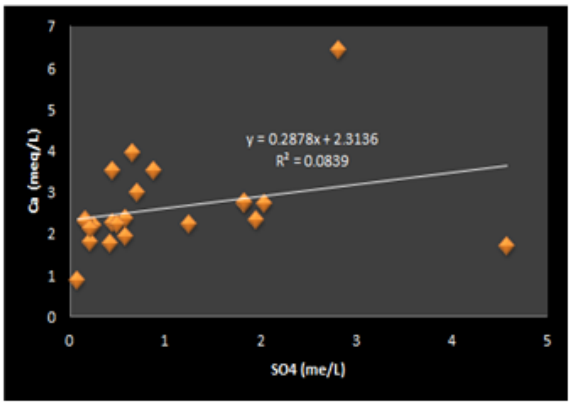
Archive of SID

جدول ۱. سنگ‌شناختی، مساحت و زمین‌دیس‌های کارستی سازندهای کربناتهٔ منطقهٔ الموت

سازند کربناته	دورهٔ زمین‌شناسی	سنگ‌شناسی	مساحت (km^2)	زمین‌دیس‌های کارستی (Karstic Landforms)	درجهٔ نسبی کارستی‌شدن (زیاد به کم)
روته	پرمین	سنگ‌آهک، سنگ‌آهک دولومیتی	۱۳۹/۹۵	میکروکارن، کارن، ژرف‌شیار، چالهٔ باران، گودال انحلالی، غارک، غار	۱
الیکا	تریاس	سنگ‌آهک دولومیتی، دولومیت	۵۱/۶۱	میکروکارن، کارن، ژرف‌شیار، غارک و غار	۲
تیزکوه	کرتاسه	سنگ‌آهک	۲۸/۹۱	میکروکارن، کارن، ژرف‌شیار، چالهٔ باران، گودال انحلالی، غارک، غار	۳
لار	ژوراسیک	سنگ‌آهک	۸/۲۳	میکروکارن، کارن، چالهٔ باران، گودال انحلالی	۴
سلطانیه	کامبرین	دولومیت و دولومیت آهکی	۱۰/۶	میکروکارن، کارن، چالهٔ باران	۵

هیدروشیمی کارست

در این بخش برای راستی‌آزمایی نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش‌های زمین‌ریخت‌شناسی و سنجش از دور، هیدروشیمی چشمه‌های کارستی بررسی می‌شود. همچنین، سنگ مخزن چشمه‌های کارستی، و زمان ایست آب در آن ارزیابی شد. بر پایهٔ نمودارهای پایپر و استیف، نوع و رخسارهٔ نمونه‌های آبی منطقه بیکربناته– کلسیک– منیزیک است که می‌توان آن را با انحلال سازندهای کربناتهٔ سنگ‌آهک و دولومیت و در نتیجه افزایش مقدار بیکربنات و کلسیم در آب زیرزمینی تفسیر کرد. همچنین، با توجه به نمودار ترکیبی Ca در برابر SO_4 قطع‌شدن محور Ca با خط برازش نشان از افزایش این یون در منطقه است. همچنین، نشان‌دهندهٔ آن است که یون Ca در منطقه افزون بر ژیپس دارای منشأ دیگری مانند کربنات کلسیم است (شکل۱۴).



شکل ۱۴. نمودار ترکیبی Ca در برابر SO_4 در نمونه‌های آبی منطقهٔ الموت

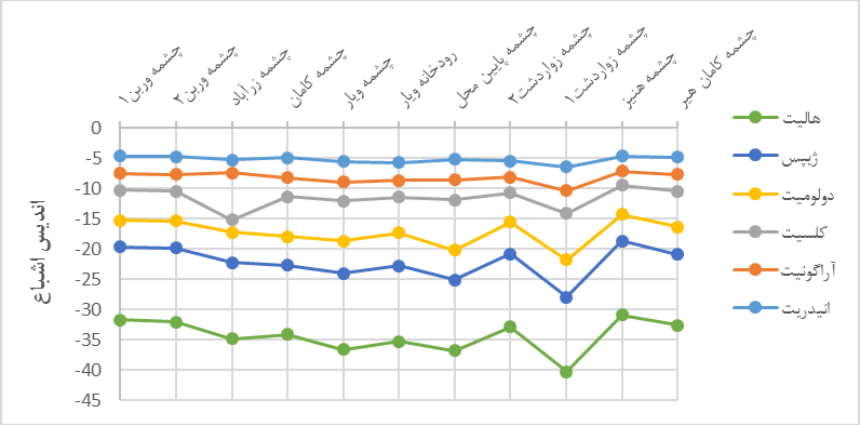
بیشترین دمای آب در دورهٔ خشک در چشمه‌های زواردشت و زرآباد برابر با ۱۸ درجهٔ سانتی‌گراد است. این دما نشان می‌دهد که نسبت به بقیهٔ مخزن، این چشمه‌ها در ژرفای کمتری قراردارد. سنگ مخزن این چشمه‌ها در سازندهای باروت یا سلطانیه واقع شده است. از دید پارامتر دما، کمترین دمای آب زیرزمینی منطقه مربوط به رودخانهٔ ویار است. این

www.SID.ir

Archive of SID

موضوع را می‌توان به دمای هوا و دمای سنگ‌های کناری نسبت داد که آب چشمه‌های منطقهٔ ویار از میان آن عبور می‌کند. با توجه به دبی بالای رودخانهٔ ویار، نتیجه کارستی‌شدن بیشتر ناحیهٔ ویار است. دمای آب رودخانهٔ ویار در دو دورهٔ خشک و مرطوب تغییر محسوسی نشان نمی‌دهد و این نشان از خاستگاه ژرف‌تر آب چشمه‌های کارستی آن دارد. از سوی دیگر، از آنجا که تغییرات دمایی در دو دورهٔ مورد بررسی در چشمه‌ها چندان زیاد نیست، می‌توان گسترش محدود شبکهٔ کارستی و ارتباط کمتر آن با دمای هوا را نتیجه‌گیری کرد. بنابراین، کارست‌زایی بالاتر منطقهٔ باختری درهٔ الموت نسبت به منطقهٔ خاوری آن را با توجه به هیدروشیمی چشمه‌های کارستی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که هم‌بسته با نتایج حاصل از زمین‌ریخت‌شناسی است.

به‌علاوه، با توجه به مدل‌سازی هیدروژئوشیمیایی و شناسایی اندیس سیرشدگی[1]، هنگامی که مقدار SI نمونهٔ آب نسبت به کانی خیلی کوچک باشد، آن کانی تا مدت‌ها در آب حل می‌شود. اندیس سیرشدگی همهٔ نمونه‌های آب چشمه‌های برداشت‌شده از منطقه نسبت به کانی‌های آراگونیت، کلسیت و دولومیت و هالیت منفی است. در نتیجه، آب زیرزمینی در این مناطق از این مواد در حالت زیر سیرشدگی است. این ویژگی نشان‌دهندهٔ زمان ایست کم آب در محیط کارستی است (شکل ۱۵). از دید محیط کارستی سنگ‌های کربناته، سه اندیس منفی سیرشدگی آراگونیت، کلسیت و دولومیت اهمیت بسیاری دارد. بر پایهٔ مقدار بسیار پایین این شاخص‌ها در چشمه‌های منطقهٔ الموت نتیجه‌گیری می‌شود کارست این منطقه ناقص و نارس است که از این دید نیز نتایج مدل‌سازی هیدروشیمیایی مطالعات زمین‌ریخت‌شناسی را تأیید می‌کند.



شکل ۱۵. اندیس سیرشدگی چشمه‌های برگزیدهٔ الموت نسبت به کانی‌های عمده

نتیجه‌گیری

منطقهٔ آلموت شرایط سنگ‌شناسی و آب‌وهوایی مناسبی برای کارست‌زایی دارد. این منطقه دارای میانگین بارندگی بیش از ۳۰۰ میلی‌متر و میانگین دمایی زیر ۱۴ درجهٔ سانتی‌گراد است. به‌دلیل کوهستانی‌بودن منطقه، بسیاری از بارش‌ها در بلندی‌ها به‌صورت برف است. جریان‌یافتن آب برف و باران به درز و شکاف‌های سنگ‌های کربناته، باعث افزایش کارکرد انحلال و سرانجام منجر به پیدایش زمین‌دیس‌های (لندفرم‌ها) کارستی می‌شود. دو عامل بارندگی بالا و دمای پایین، زمینه‌ساز روند کارست‌زایی در منطقه شده است. این دو عامل در زمین‌دیس‌های بیرونی پدیدآمده در شمال و جنوب منطقه نیز مؤثر است، به‌طوری که زمین‌دیس‌های بیرونی پدیدآمده در شمال منطقه به‌علت میزان بارندگی بیشتر و دمای کمتر، پیشرفته‌تر از جنوب منطقه است. در کل، کارست‌های منطقهٔ آلموت بر اساس رده‌بندی زمین‌ریخت‌شناسی از نوع کارست ناقص و به نسبت ژرف، و بر پایهٔ رده‌بندی مهندسی نوجوان تا جوان است. آنچه باعث شده است تا عمق

1. saturation index

www.SID.ir

Archive of SID

کارست‌زایی در منطقهٔ مورد مطالعه با وجود شرایط آب‌وهوایی مناسب کم باشد، ضخامت کم لایه‌های آهکی و وجود ناخالصی در سنگ آهک و دولومیت به‌خصوص در نواحی خاوری درهٔ الموت است.

باتوجه به بازدیدهای میدانی و تحلیل‌های انجام‌گرفته، سازند روته بیشترین میزان کارست‌زایی را در منطقه دارد (جدول ۱). سازند الیکا پس از روته و بعد از آن سازند باروت دارای بیشترین میزان کارست‌زایی است. سازند سلطانیه، به‌دلیل دولومیتی‌بودن و رخنمون (مساحت) کم، کمترین میزان کارست‌زایی را در منطقه دارد.

بر پایهٔ مدل‌سازی هیدروشیمیایی، با توجه به زمان ایست کم آب در محیط کارستی منطقه، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اپی‌کارست در این ناحیه گسترش چندانی ندارد و کارست منطقه از نوع کارست افشان و توسعه‌نیافته است. بر پایهٔ مجموع مطالعات زمین‌ریخت‌شناسی، سنجش از دور و هیدروشیمی کارست، به‌طور کلی، بخش باختری منطقهٔ الموت کارست‌زایی بالاتری نسبت به بخش خاوری آن دارد و پیشنهاد می‌شود که مطالعات تکمیلی از جمله ردیابی رنگی و ژئوالکتریکی با هدف شناخت سامانهٔ جریان مخزن کارستی منطقهٔ باختری درهٔ الموت، به‌ویژه در منطقهٔ ویار، انجام شود.

منابع

افتخارنژاد، ج. (۱۳۵۹). تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمان در ارتباط با حوضه‌های رسوبی. نشریهٔ انجمن نفت و گاز، ۸۲: ۱۹-۲۸.

افراسیابیان، ا. (۱۳۷۷). اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع آب کارست در ایران. مجموعه مقالات دومین همایش جهانی آب در سازندهای کارستی، کرمانشاه.

آقانباتی، س.ع. (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۳ ص.

بهارفیروزی، خ.، شفیعی، ع.ر.، اژدری، ع. و کریمی، ح.ر. (۱۳۸۲). نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جواهرده. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

بهارفیروزی، خ.، ندیم، ه. و شفیعی، ع.ر. (۱۳۷۹). نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رامسر. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

چورلی، ر.جی.، شوم، ا.ا. و سودن، د.ا. (۱۳۷۹). ژئومورفولوژی. برگردان: احمد معتمد، انتشارات سمت.

رادفر، ج. (۱۳۷۷). نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، قزوین. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

شاهسوندی، م. (۱۳۸۷). تأثیر فاضلاب‌های شهری بر چاه‌های آب شرب شهر قم. پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ۱۴۳ ص.

قانع، م. و غضنفری، پ. (۱۳۹۲). ویژگی‌های کارستی سنگ‌های کربناتهٔ کرتاسه در درهٔ هراز، البرز مرکزی. سی‌ودومین گردهمایی و نخستین کنگرهٔ بین‌المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

قبادی، م.ح. (۱۳۸۸). زمین‌شناسی مهندسی کارست. دانشگاه بوعلی سینا، چاپ دوم.

قلمقاش، ج. (۱۳۸۱). نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جیرنده. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

کریمی‌وردنجانی، ح. (۱۳۹۴). هیدروژئولوژی کارست، مفاهیم و روش‌ها. انتشارات ارم شیراز، ۴۱۴ ص.

مقیمی، ه. (۱۳۹۱). هیدروژئولوژی کارست. انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ سوم، ۲۶۸ ص.

نبوی، م.ح. (۱۳۵۵). دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ ص.

Afrasiabian, A. (1998). The importance of research and development of karst water resources in Iran. Proceedings of the Second International Conference on Water in karstic formations, Kemanshah, Iran. [in Persian]

Aghanabati, S.A. (2004). Geology of Iran. Geological Survey of Iran, 583 p. [in Persian]

Alley, W.M. (1993). Regional ground-water quality. John Wiley & Sons, 634 p.

Anderson, T.W., Welder, G.E., Lesser, G. and Trujilo, A. (1988). Region 7, central alluvial basin, in Geology of North America (hydrology). Edited by W. Back, J.S. Rosenbein and P.R. Seaber: 81-86.

Annells, R.S., Arthurton, R.S., Bazley, R.A.B., Davies, R.G., Hamedi, M.A.R. and Rahimzadeh, F. (1977). Geological map of Shakran 1/100000. Geological Survey of Iran.

Bahar Firuzi, K., Nadim, H. and Karimi, H.R. (2003). Geological map of Ramsar, 1:100000. Geological Survey of Iran. [in Persian]

Bahar Firuzi, K., Shafiei, A.R., Azhdari, A. and Shafiei, A.R. (2000). Geological map of Javaherdeh, 1:100000. Geological Survey of Iran. [in Persian]

Bakalowicz, M. (2005). Karst groundwater: a challenge for new resources. Hydrogeology Journal, 13(1): 148-160.

Bögli, A. (1980). Karst hydrology and physical speleology. New York, Springer, 270 p.

Bozak, P. (2008). Karst processes and time. Geologos, 14(1): 121-127.

Chow, V.T. (1988). Applied hydrology. McGraw-Hill.

Chorley, R.J., Schumm, S.A. and Sugden, D.E. (1998). Geomorphology. Vol. 2, Geology, Translated by A. Motamed, Samt Press. [in Persian]

Cvijić, J. (1925). Types morphologiques des terrains calcaires, Comptes Rendus. Acade'mie des Sciences (Paris).

www.SID.ir

Archive of SID

Dickson, J.A.D. (1966). Carbonate identification and genesis as revealed bystaining. Journal of Sedimentary Petrology, 36: 491-505.
Eftekharnezhad, J. (1980). Separation of different parts of the in wiew point of structure in relation to the sedimentary basins. Oil and Gas Association Magazine, 82: 19-28.
Ennes-Silva, R.A., Bezerra, F.H.R., Nogueira, F.C.C., Balsamo, F., Klimchouk, A., Cazarin, C.L. and Auler, A.S. (2015). Superposed folding and associated fracturing influence hypogene karst development in Neoproterozoic carbonates, São Francisco Craton, Brazil. Tectonophysics, http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2015.11.006.
Fleury, S. (2009). Land use policy and practice on karst terrains: Living on limestone. Springer, 187 p.
Ford, D.C. and Williams, P.W. (2007). Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley and Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, 576 p.
Ghalamghash, J. (2002). Geological map of Jirandeh, 1:100000. Geological Survey of Iran. [in Persian]
Ghanea, M. and Ghazanfari P. (2014). Karst fetures of Carbonate Rocks of Cretaceous Haraz Valley, Central Alborz. 32nd National and 1st International Geosciences Congress Fundamental Geology, 16-19 February, Shiraz University, Shiraz. Iran. [in Persian]
Ghobadi, M. (2009). Engineering geology of Karst. Bu Ali Sina Uni., 2nd Ed. [in Persian]
Karimi Vardanjani, H. (2015). Karst hydrogeology and geomorphology. Eram Shiraz Pub., 536 p. [in Persian]
Langmuir, D. (1997). Aqueous environmental geochemistry. Prentice Hall, 600 p.
Migon, P. (2011). Development of karst phenomena for geotourism in the Moravian Karst (Czech Republic). Geotourism, 3-4(26-27): 3-24.
Milanovic´, P.T. (1981). Karst Hydrogeology. Water Resources Publications, Littleton, Co. 434 p.
Moghimi, H. (2012). Karst hydrogeology. Payame Nour Uni., 3rd Ed., 268 p. [in Persian]
Nabavi, H., 1977, Geological map of Semnan 1:100000. Geological Survey of Iran.
Nabavi, H. (1976). Introduction to geology of Iran. Geological Survey of Iran, 109 p. [in Persian]
Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J. (1999). User's guide to PHREEQC (Version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations.
Radfar, J. (1998). Geological map of Qazvin, 1:100000. Geological Survey of Iran. [in Persian]
Silvestra, E. (2000). Paleokarst- a riddle inside confusion. CEN Technical Journal, 14(3): 100-108.
Shahsavandi, M. (2008). Impact of urban wastewater on drinking water wells in Qom city. MSc Thesis, Shahid Beheshti University, 142 p.
Tick, G. and Vlassopoulos, D. (2004). AqQA: quality assurance and presentation graphics for ground water analyses. Ground Water, 42(3): 326-329.
Tucker, M.E. (2001). Sedimentary petrology: An introduction to the origin of sedimentary rocks. Blackwell Scientific Publication, 262 p.
Waltham, A.C. and Fookes, P.G. (2003). Engineering classification of karst ground conditions. Journal of Engineering Geology and Hydrology, 36: 101-118.

www.SID.ir